

# Les XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles

## La lumière avant les lumières

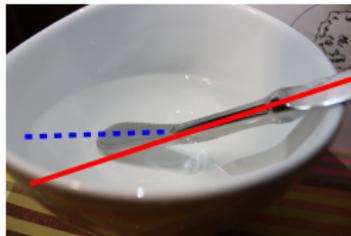
- ▶ Détermination des lois de la réflexion
- ▶ Détermination des lois de la réfraction
- ▶ Le héron
- ▶ le bol de mon petit-dej & mon couteau dans l'eau
- ▶ la réflexion totale

# La semaine dernière ...

- ▶ Objectif du cours : comprendre ce qu'est la lumière
  - ▶ démarche : suivre l'Histoire
    - ▶ développement d'un certain nombre d'outils et de concepts "from (presque) scratch" à partir de l'observation de phénomènes naturels impliquant la lumière
    - ▶ utiliser ces outils et concepts pour en développer d'autres qui permettront d'expliquer d'autres phénomènes
  - ▶ Antiquité & la vision → 1<sup>er</sup> concept (Euclide) : Le rayon visuel (abstraction géométrique permettant de rendre compte du "média" liant les objets et la vision que nous en avons)

## La semaine dernière ...

- ▶ Première observation d'amphi : la “déformation” de la tige filetée  
→ La réfraction :  
le changement de direction de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre, de l'air à l'eau par exemple.

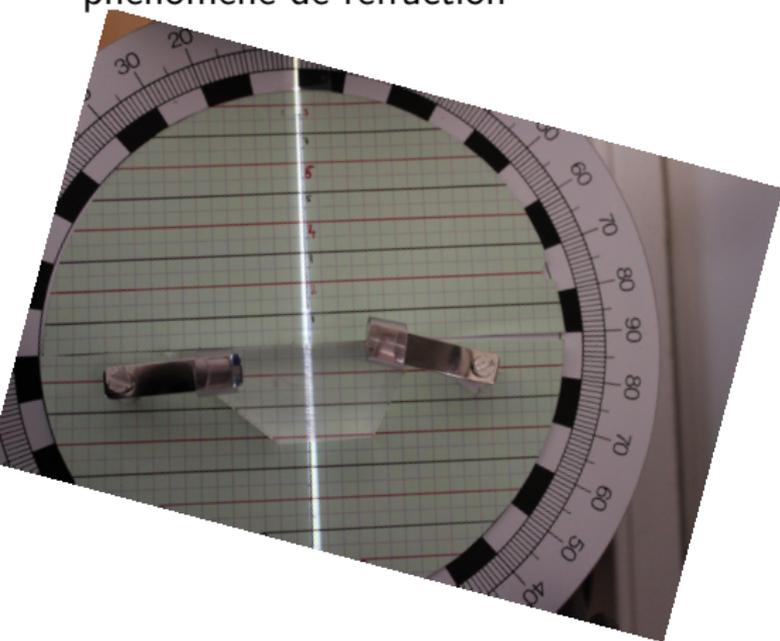


- ▶ Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



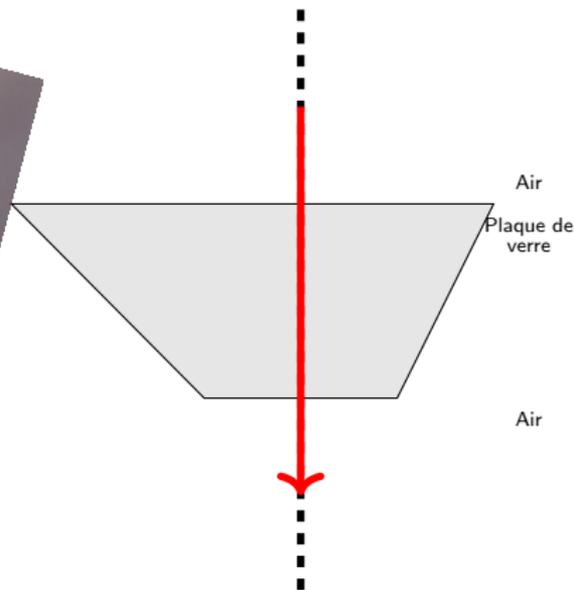
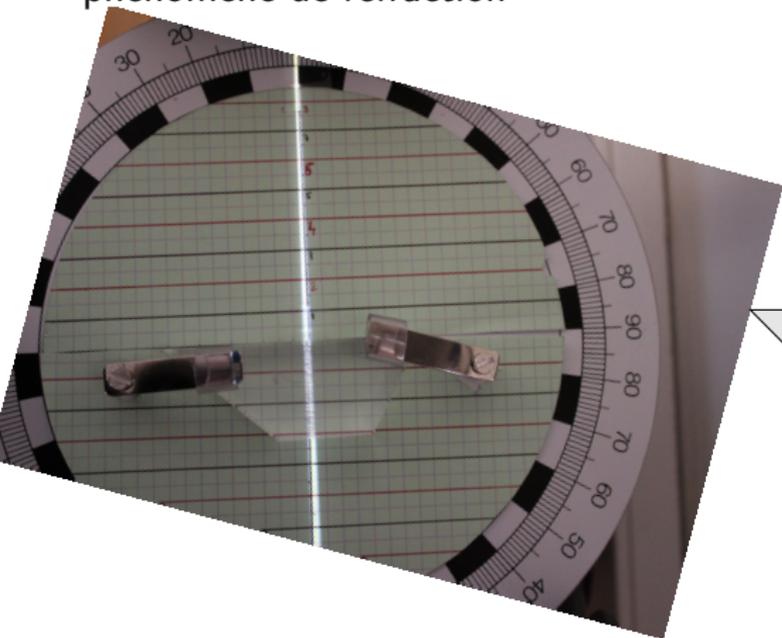
## La semaine dernière ...

- ▶ Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



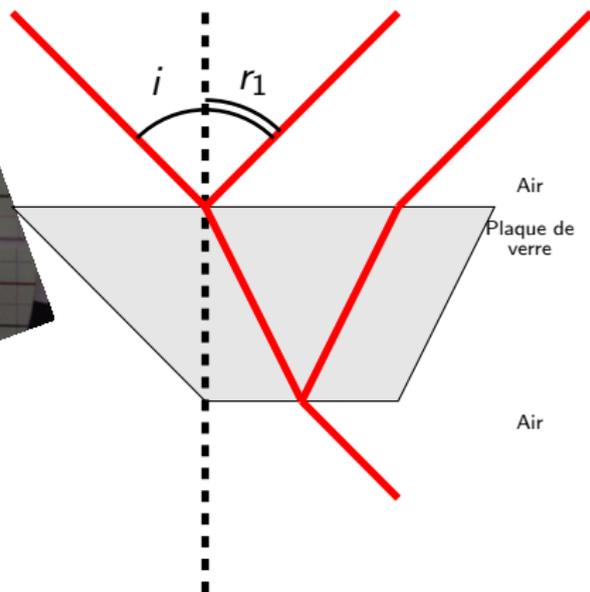
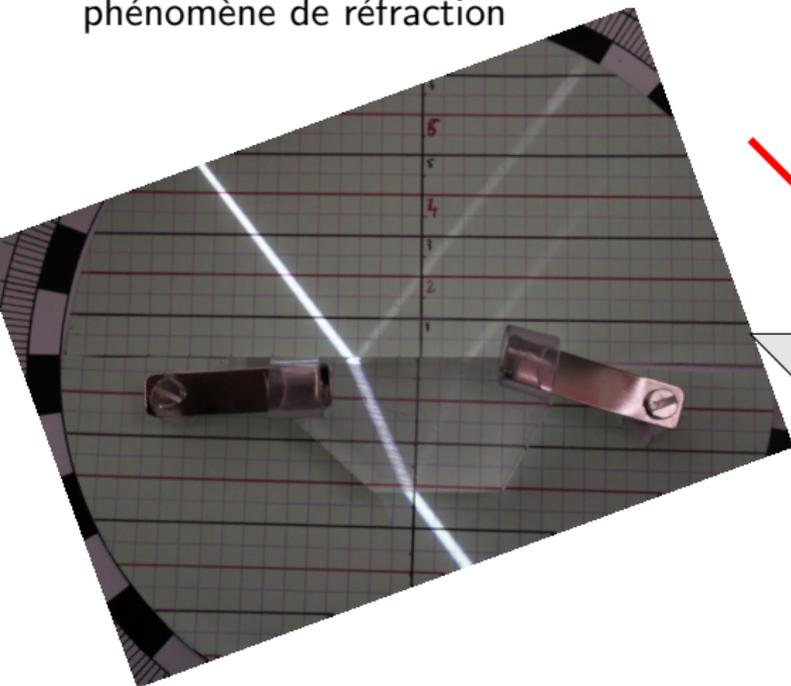
## La semaine dernière ...

- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



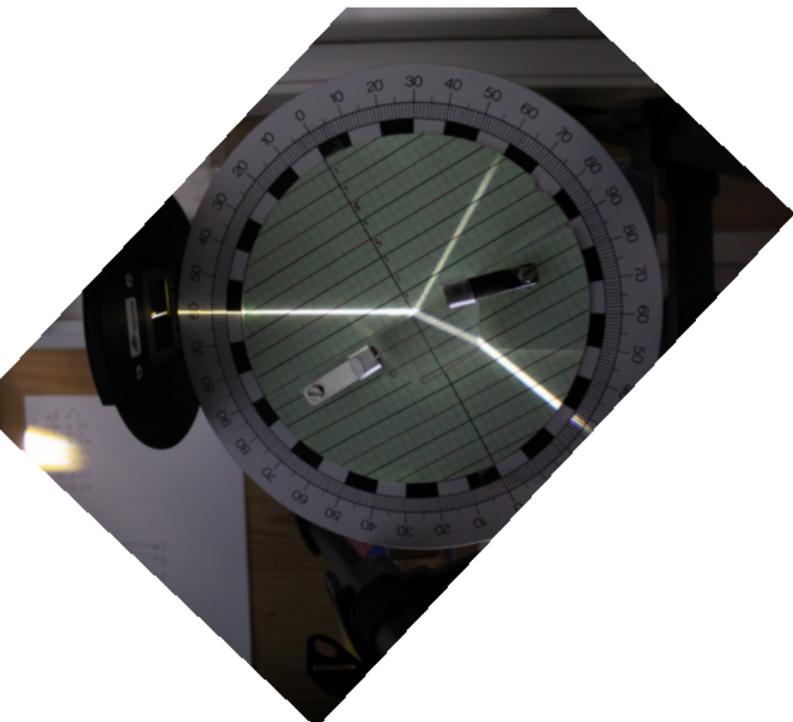
## La semaine dernière ...

- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



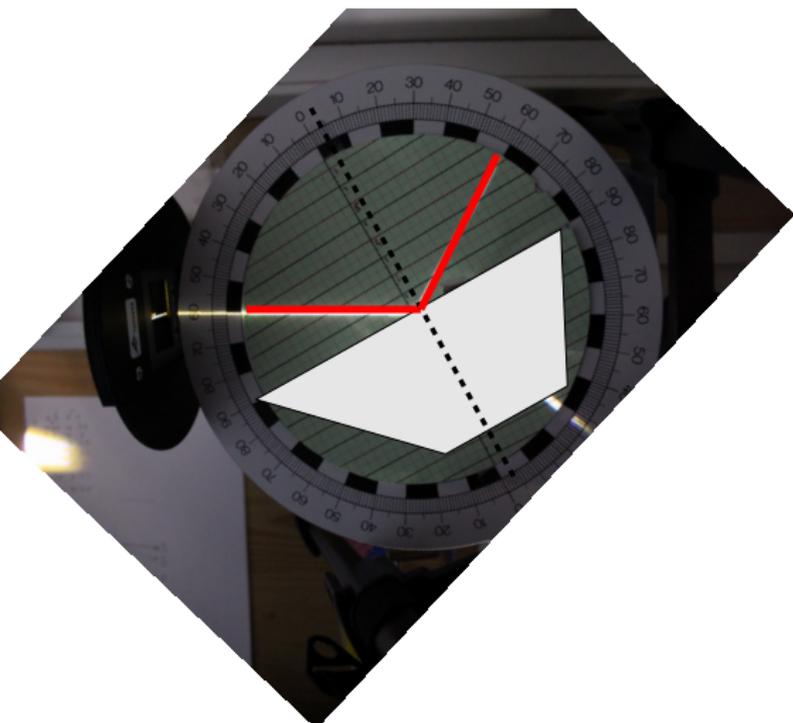
## Mesure des angles de réflexion

- ▶ Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion



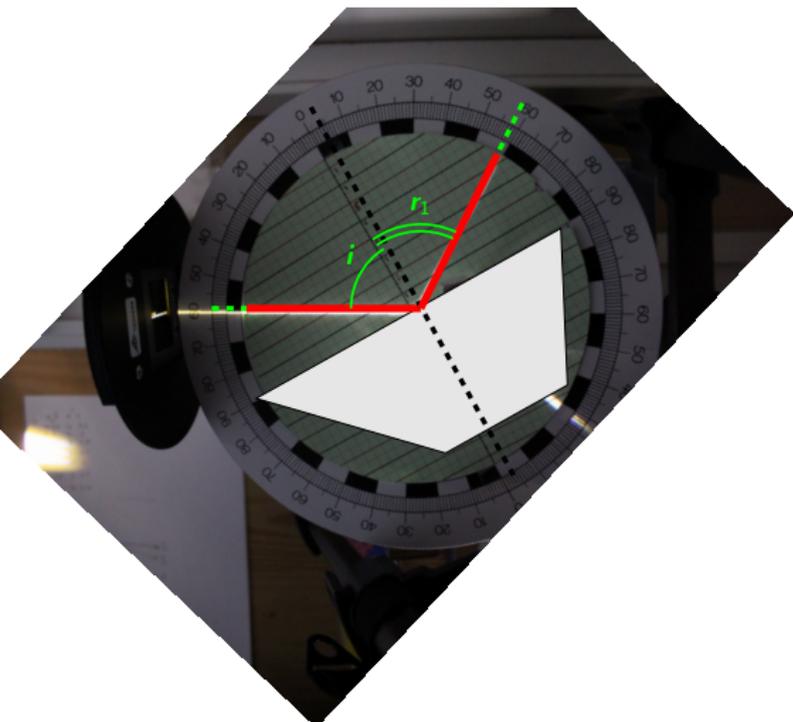
## Mesure des angles de réflexion

- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion



# Mesure des angles de réflexion

- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion

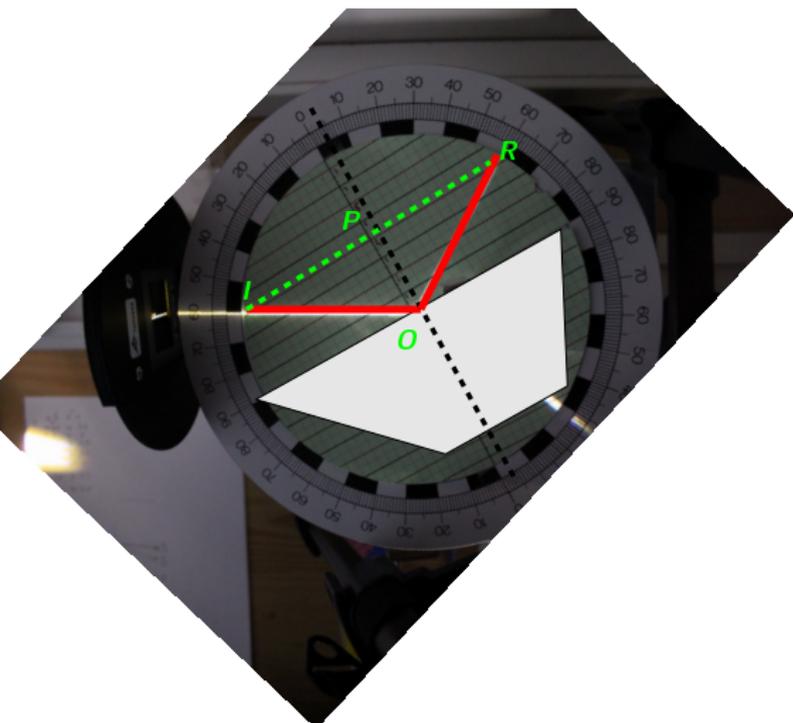


## Méthode 1

Mesure directe des angles  $i$  et  $r_1$  entre la normale au dioptre et les faisceaux incident et réfléchi

## Mesure des angles de réflexion

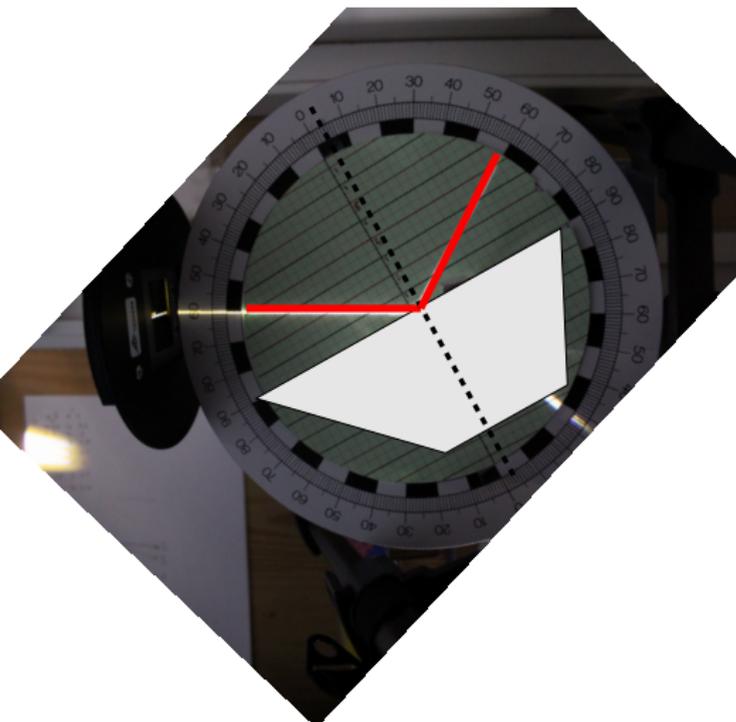
- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion



Mesure des distances  $IP$  et  $RP$  des extrémités des faisceaux incident et réfléchi à la normale au dioptre

# Mesure des angles de réflexion

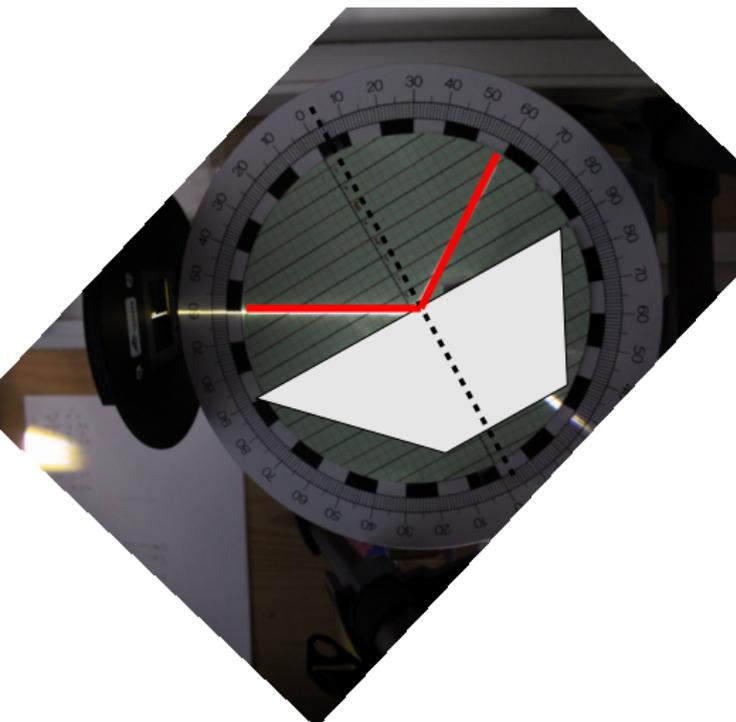
- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion



Angle incidence	Angle réfléchi	IP (cm)	RP (cm)
0°			
10°			
20°			
30°			
40°			
50°			
60°			
70°			
80°			
90°			

# Mesure des angles de réflexion

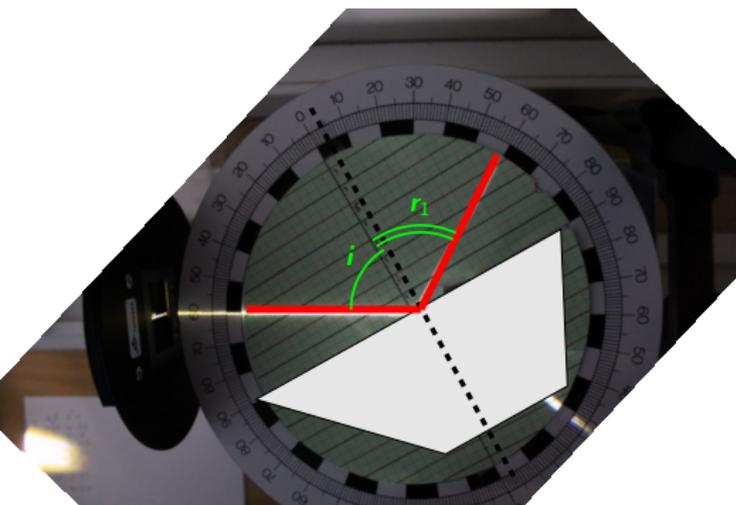
- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion



Angle incidence	Angle réfléchi	IP (cm)	RP (cm)
0°	0°	0.0	0.0
10°	10°	1.5	1.5
20°	20°	3.0	3.0
30°	30°	4.25	4.25
40°	40°	5.5	5.5
50°	50°	6.5	6.5
60°	60°	7.25	7.25
70°	70°	8.0	8.0
80°	80°	8.25	8.25
90°	90°		

## Mesure des angles de réflexion

- Première expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réflexion



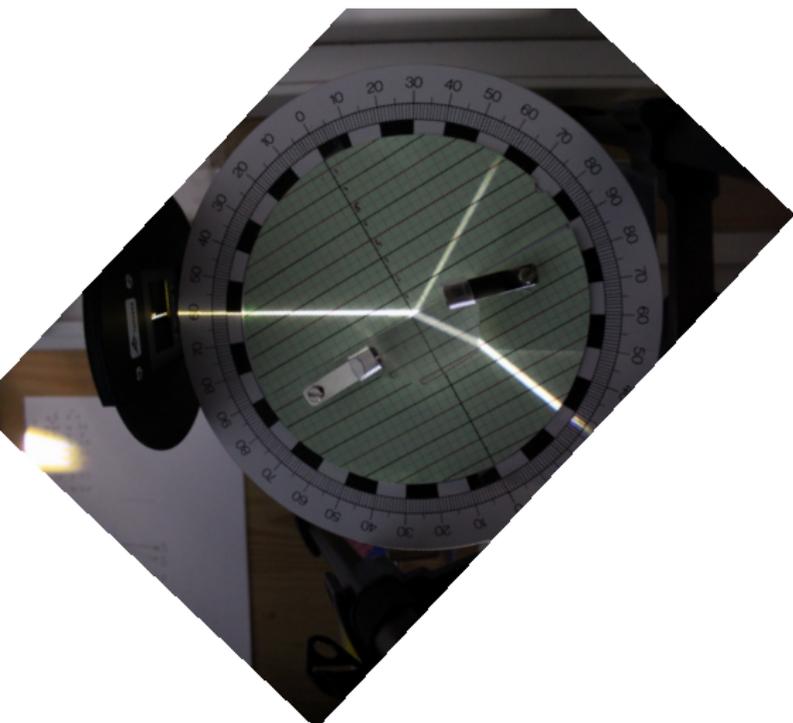
Angle incidence	Angle réfléchi	IP (cm)	RP (cm)
0°	0°	0.0	0.0
10°	10°	1.5	1.5
20°	20°	3.0	3.0
30°	30°	4.25	4.25
40°	40°	5.5	5.5
50°	50°	6.5	6.5
60°	60°	7.25	7.25
70°	70°	8.0	8.0
80°	80°	8.25	8.25
90°	90°		

### Lois de la réflexion

- le rayon réfléchi est contenu dans le plan d'incidence,
- l'angle de réflexion  $r_1$  est égale à l'angle d'incidence  $i$ .

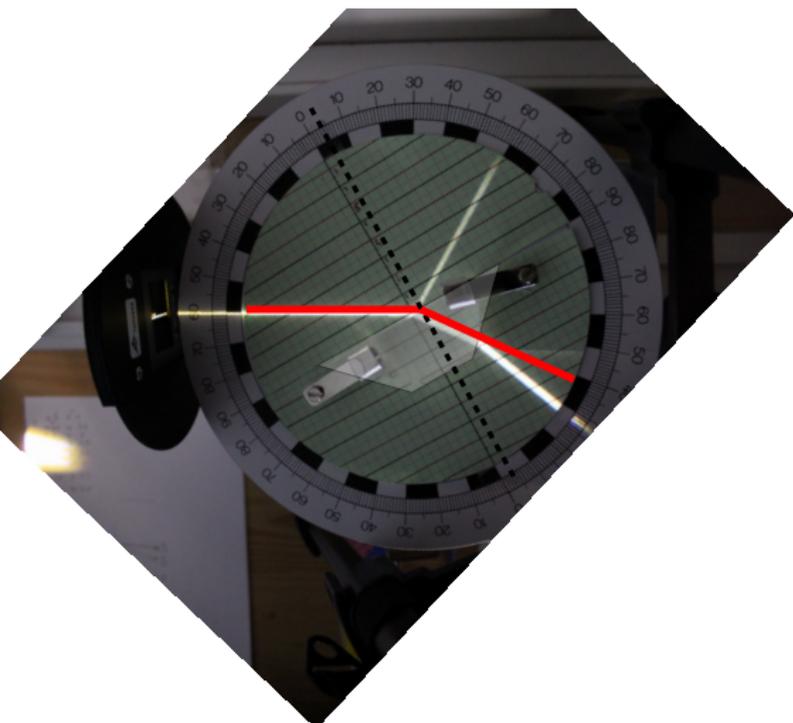
## Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



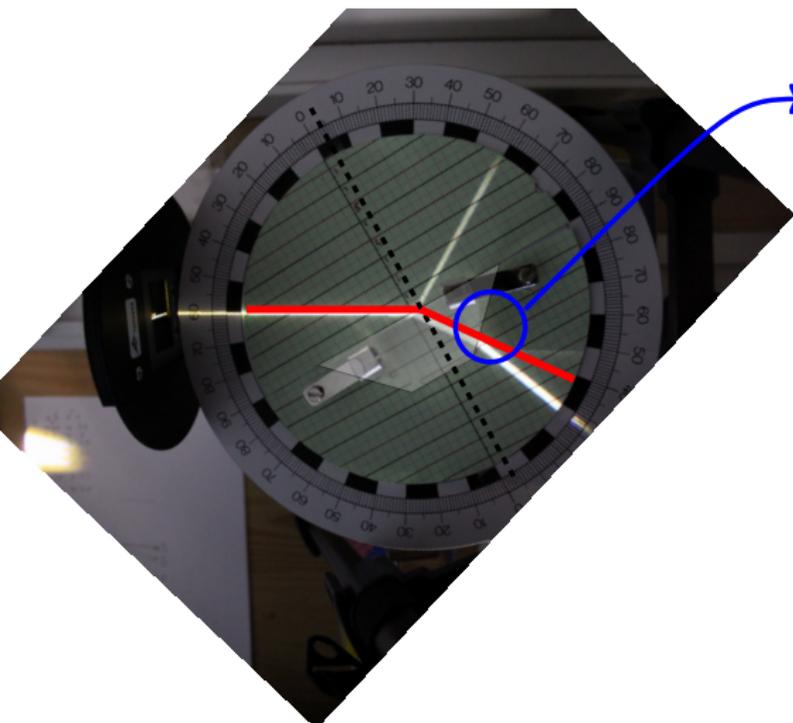
## Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction

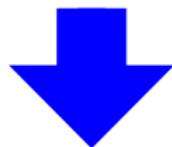


# Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



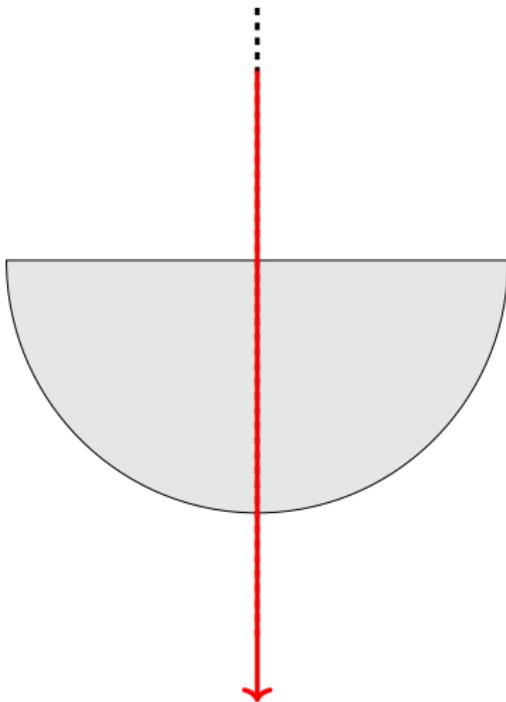
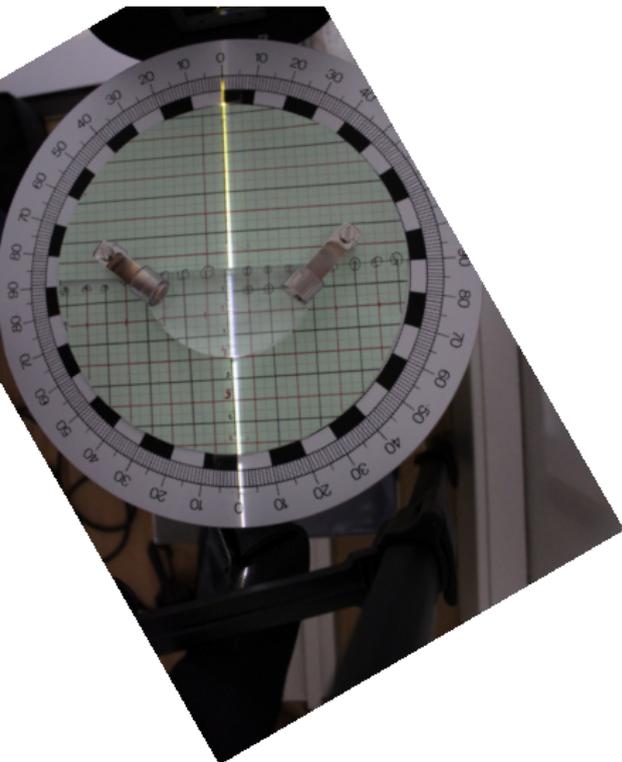
**Problème !** : la réfraction sur le second dioptre → dévie le rayon réfracté dans le verre



**Solution :**  
le verre semi-circulaire

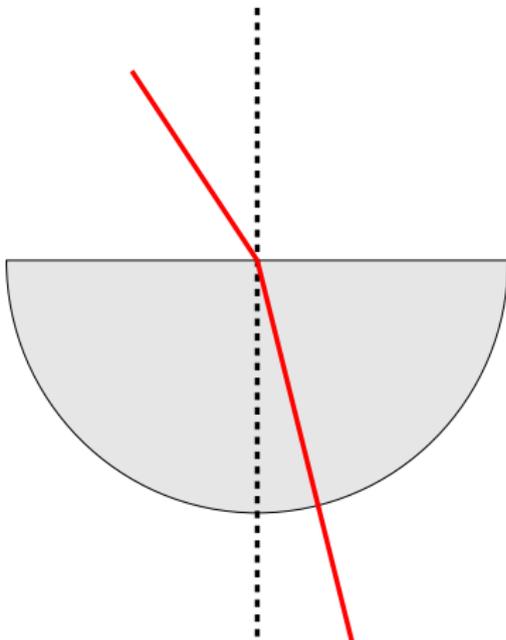
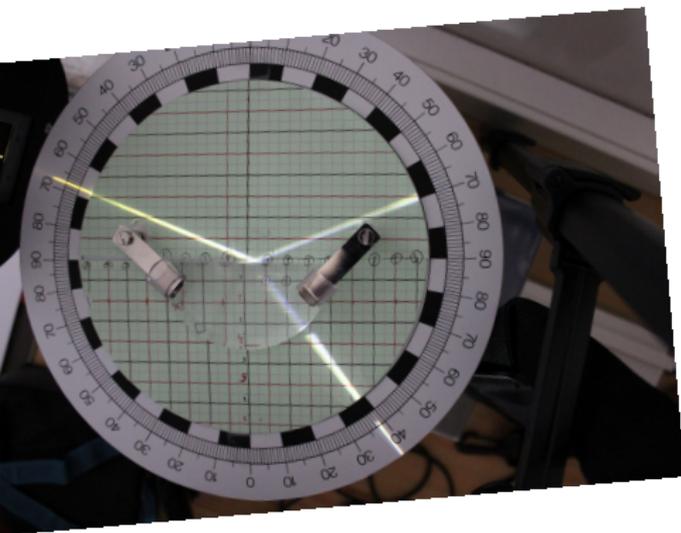
## Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



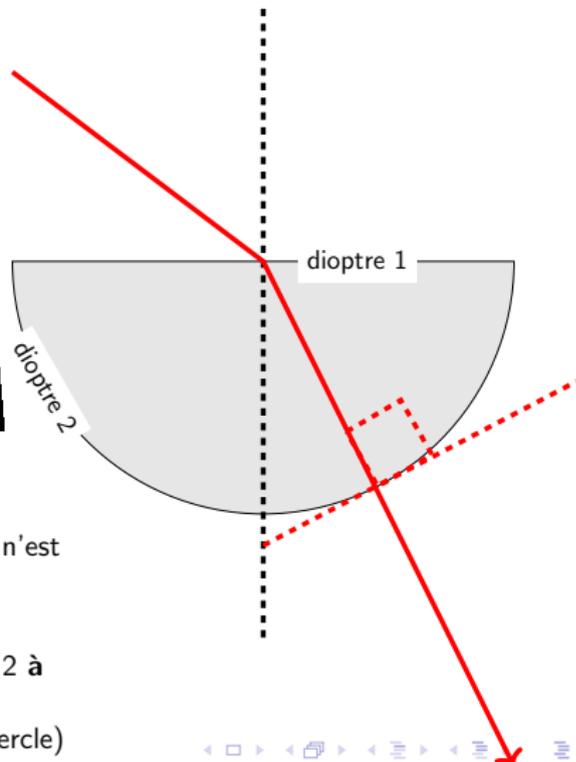
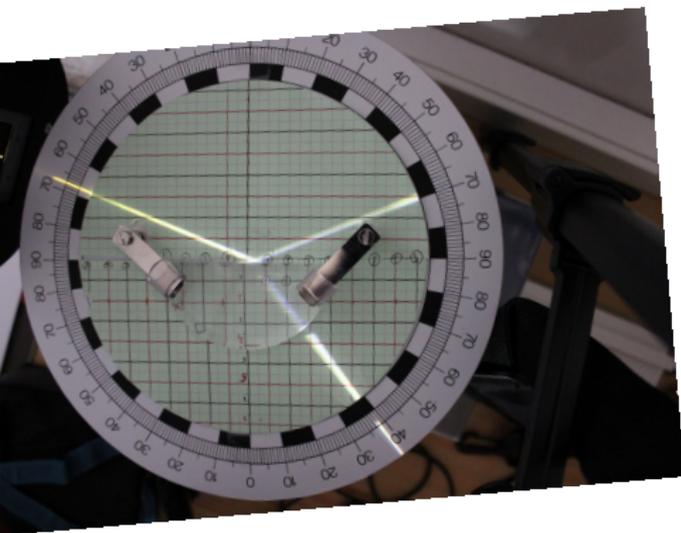
## Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



## Mesure des angles de réfraction

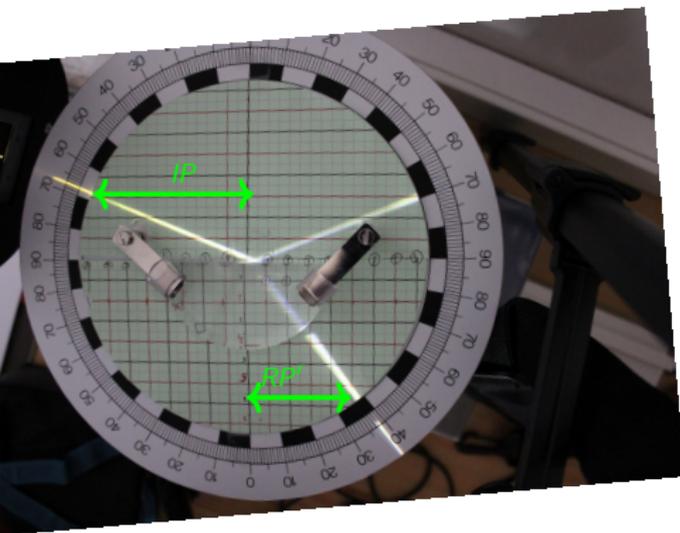
- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



- ▶ Un rayon arrivant perpendiculairement à un dioptré n'est pas dévié
- ▶ dans un dispositif en verre semi-circulaire, le rayon réfracté dans le verre est perpendiculaire au dioptré 2 à **la condition que le rayon incident arrive sur le centre du dispositif** (propriété mathématique du cercle)

# Mesure des angles de réfraction

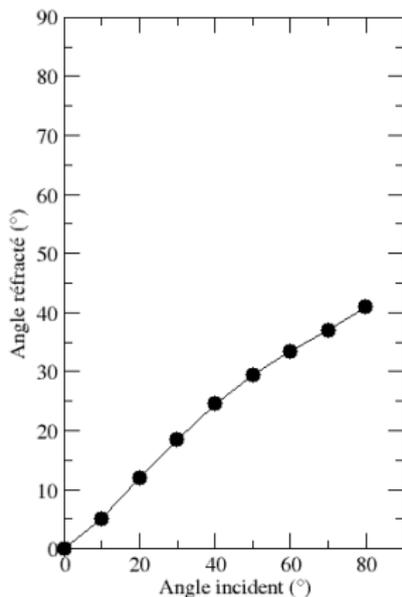
- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



Angle incidence	Angle réfracté	$IP$ (cm)	$RP'$ (cm)
$0^\circ$			
$10^\circ$			
$20^\circ$			
$30^\circ$			
$40^\circ$			
$50^\circ$			
$60^\circ$			
$70^\circ$			
$80^\circ$			
$90^\circ$			

# Mesure des angles de réfraction

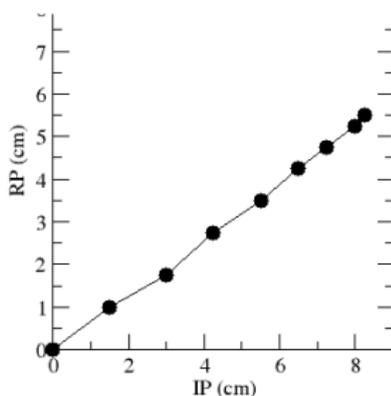
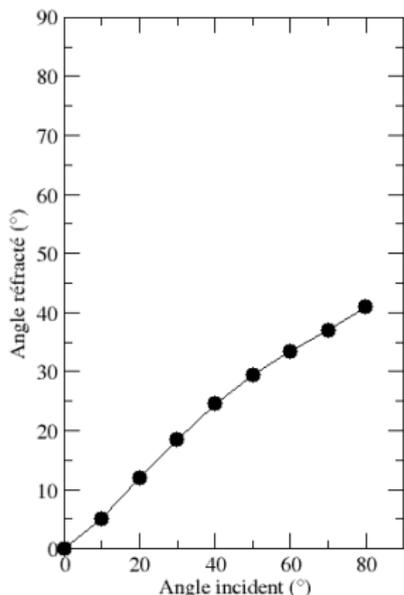
- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



Angle incidence	Angle réfracté	$IP$ (cm)	$RP'$ (cm)
0°	0°	0.00	0.00
10°	9°	1.50	1.00
20°	15°	3.00	2.00
30°	21.5°	4.25	2.75
40°	28°	5.50	3.50
50°	32.5°	6.50	4.25
60°	37.5°	7.25	4.75
70°	40.5°	8.00	5.25
80°	43°	8.25	5.50
90°			

# Mesure des angles

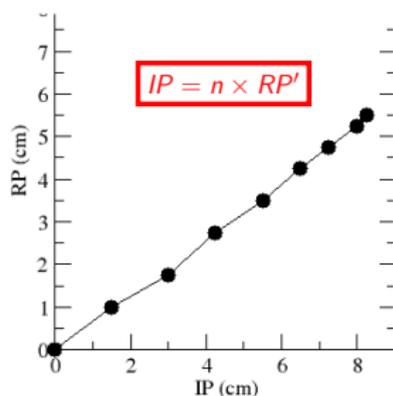
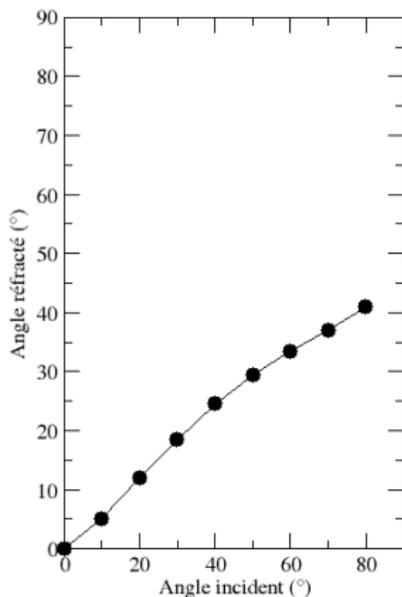
- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



Angle incidence	Angle réfracté	IP (cm)	RP' (cm)
0°	0°	0.00	0.00
10°	9°	1.50	1.00
20°	15°	3.00	2.00
30°	21.5°	4.25	2.75
40°	28°	5.50	3.50
50°	32.5°	6.50	4.25
60°	37.5°	7.25	4.75
70°	40.5°	8.00	5.25
80°	43°	8.25	5.50
90°			

# Mesure des angles

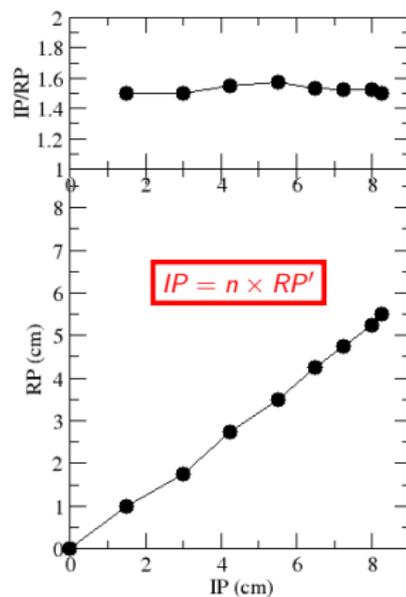
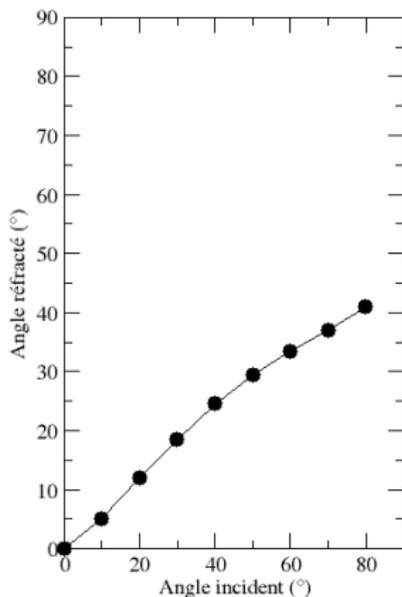
- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction



Angle incidence	Angle réfracté	IP (cm)	RP' (cm)
0°	0°	0.00	0.00
10°	9°	1.50	1.00
20°	15°	3.00	2.00
30°	21.5°	4.25	2.75
40°	28°	5.50	3.50
50°	32.5°	6.50	4.25
60°	37.5°	7.25	4.75
70°	40.5°	8.00	5.25
80°	43°	8.25	5.50
90°			

# Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction

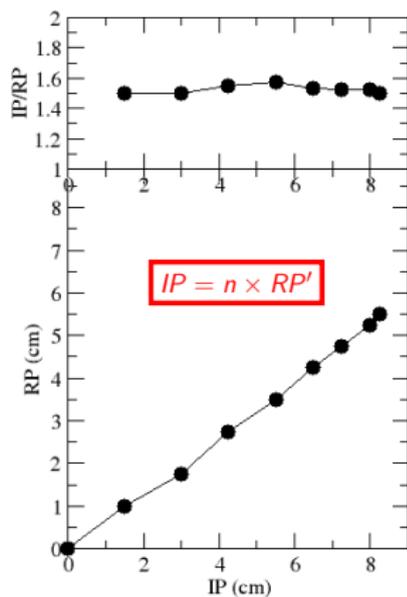
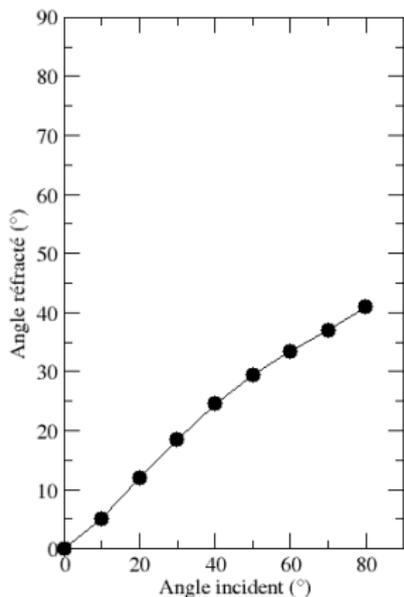


Angle incidence	Angle réfracté	IP (cm)	RP' (cm)
0°	0°	0.00	0.00
10°	9°	1.50	1.00
20°	15°	3.00	2.00
30°	21.5°	4.25	2.75
40°	28°	5.50	3.50
50°	32.5°	6.50	4.25
60°	37.5°	7.25	4.75
70°	40.5°	8.00	5.25
80°	43°	8.25	5.50
90°			

# Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction

$$n = \frac{IP}{RP'} = 1.52 \text{ est l'indice de réfraction du verre}$$



Angle incidence	Angle réfracté	IP (cm)	RP' (cm)
0°	0°	0.00	0.00
10°	9°	1.50	1.00
20°	15°	3.00	2.00
30°	21.5°	4.25	2.75
40°	28°	5.50	3.50
50°	32.5°	6.50	4.25
60°	37.5°	7.25	4.75
70°	40.5°	8.00	5.25
80°	43°	8.25	5.50
90°			

# Mesure des angles de réfraction

Digression mathématique : les fonctions



- ▶ **Définition** : une fonction transforme une valeur en une autre

# Mesure des angles de réfraction

## Digression mathématique : les fonctions



- ▶ **Définition** : une fonction transforme une valeur en une autre
- ▶ Exemple : l'aire d'un carré  $\rightarrow$  à partir de la longueur  $l$  d'un coté, la fonction "aire du carré"  $f(l)$  retourne la valeur  $l \times l$ .

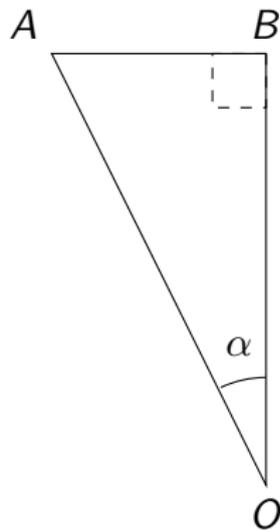
# Mesure des angles de réfraction

## Digression mathématique : les fonctions



- ▶ **Définition** : une fonction transforme une valeur en une autre
- ▶ Exemple : l'aire d'un carré  $\rightarrow$  à partir de la longueur  $l$  d'un coté, la fonction "aire du carré"  $f(l)$  retourne la valeur  $l \times l$ .
- ▶ Il existe une fonction qui, à partir de l'angle  $\alpha$  dans le triangle  $OAB$  retourne la valeur de  $AB$  : la fonction **sinus**

$$AB = AO \times \sin \alpha$$



# Mesure des angles de réfraction

## Digression mathématique : les fonctions



- ▶ **Définition** : une fonction transforme une valeur en une autre
- ▶ Exemple : l'aire d'un carré  $\rightarrow$  à partir de la longueur  $l$  d'un coté, la fonction "aire du carré"  $f(l)$  retourne la valeur  $l \times l$ .
- ▶ Il existe une fonction qui, à partir de l'angle  $\alpha$  dans le triangle  $OAB$  retourne la valeur de  $AB$  : la fonction **sinus**

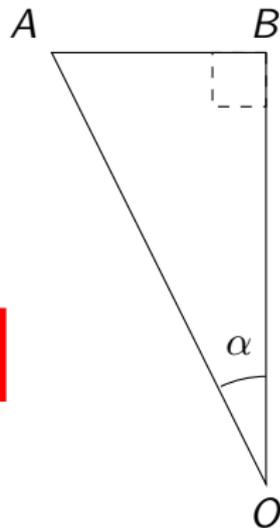
$$AB = AO \times \sin \alpha$$

$$IP = IO \times \sin i$$

$$RP' = RO \times \sin r$$

$$IP = n \times RP'$$

$$\sin i = n \times \sin r$$

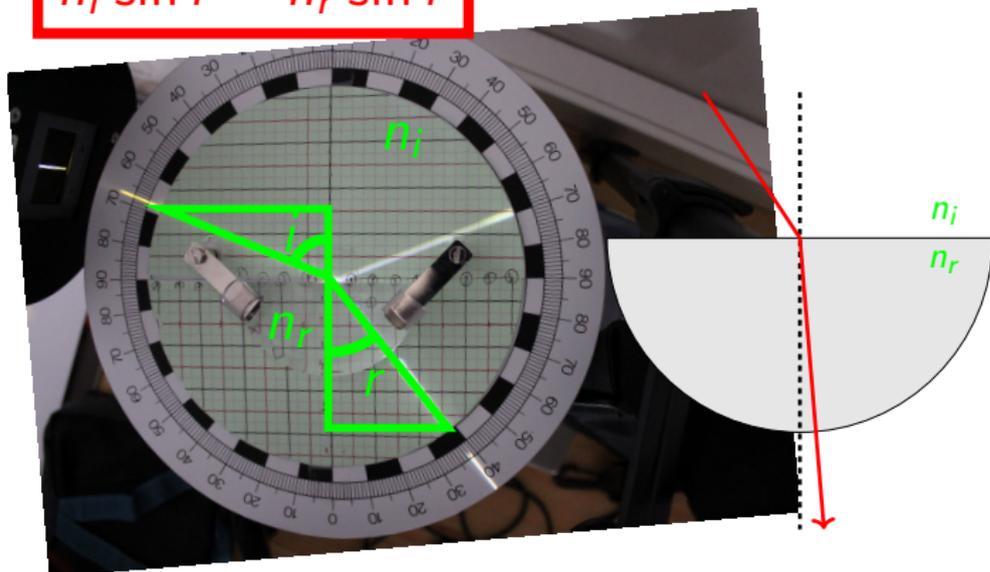


# Mesure des angles de réfraction

- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction

$$n = \frac{n_r}{n_i}$$

$$n_i \sin i = n_r \sin r$$



# Mesure des angles de réfraction

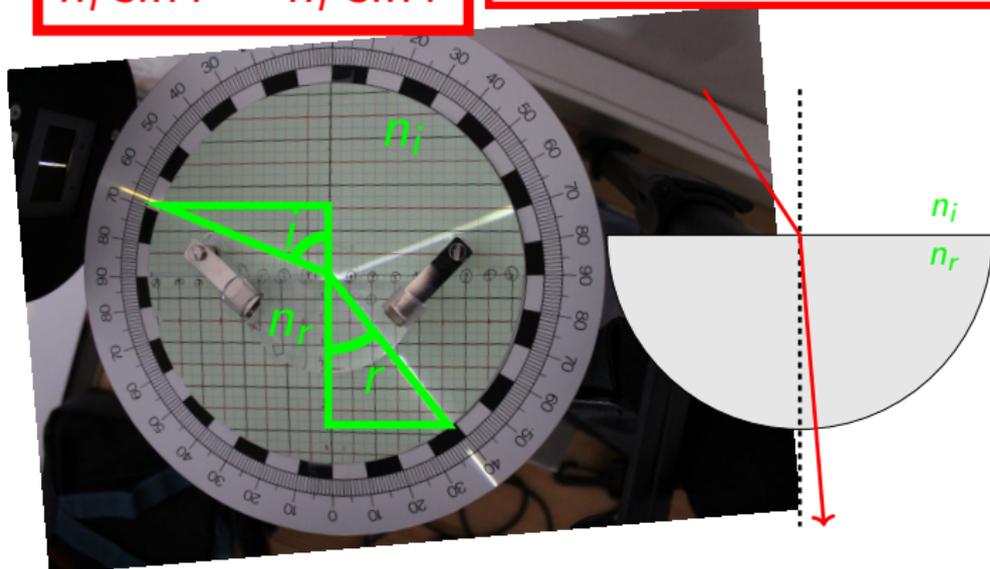
- ▶ Deuxième expérience d'amphi : trajectoire des rayons visuels dans un phénomène de réfraction

$$n = \frac{n_r}{n_i}$$

$$n_i \sin i = n_r \sin r$$

## Lois de Snell-Descartes

- ▶ le rayon transmis est contenu dans le plan d'incidence,
- ▶ l'angle de réfraction  $r$  est égale à l'angle d'incidence  $i$  sont reliés par la relation  $n_i \sin i = n_r \sin r$



# Réflexion & Réfraction

- ▶ les lois de la réflexion sont connues depuis l'antiquité
  - ▶ **Héron d'Alexandrie** (1<sup>er</sup> de notre ère), *Catoptrica*
    - ▶ première formulation des lois de la réflexion
  - ▶ **Claude Ptolémée** (100-168), Alexandrie, *Optique*
  - ▶ **Ibn al-Haytham (Alhazen)** (965-1039), *Traité d'optique* et *Discours sur la lumière*
    - ▶ Première théorie physique de la lumière ; il invalide (i) la "vision" des Pythagoriciens (douleur générée par la lumière) (ii) la "vision" des Atomistes (détails des objets dans la pénombre ; dans la pleine lumière)
    - ▶ il émet l'idée que la lumière possède une existence propre et qu'elle est étrangère à l'individu qui la reçoit et au corps lumineux.

# Réflexion & Réfraction

- ▶ les lois de la réfraction, reliant les angles  $i$  et  $r$ , ne furent découvertes et démontrées qu'au XVII<sup>e</sup> siècle.
  - ▶ **Claude Ptolémée** (100-168), Alexandrie, *Optique*
    - ▶ premières mesures de la réfraction pour, entre autre, démontrer que dans le cas de la réfraction, les choses *“sont vues dans le prolongement du regard, [...] avec l'impression, non que le rayon visuel est brisé, mais plutôt que les choses flottent et s'élèvent jusqu'à lui”*.
    - ▶ Il construit précisément le lieu où apparaît ce que nous appelons **“image virtuelle”** : *à l'intersection du rayon visuel et de la normale à la surface de séparation des deux milieux*

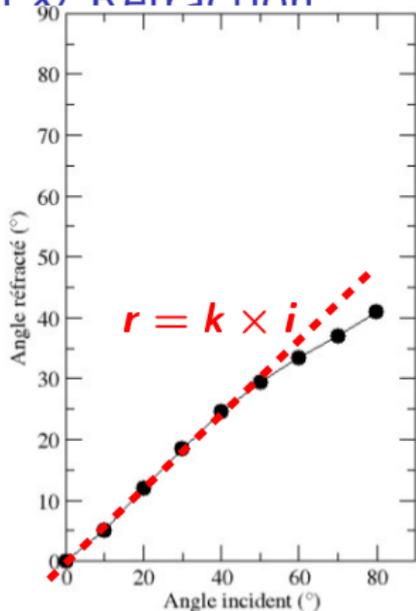
# Réflexion & Réfraction

- ▶ les lois de la réfraction, reliant les angles  $i$  et  $r$ , ne furent découvertes et démontrées qu'au XVII<sup>e</sup> siècle.
  - ▶ **Claude Ptolémée** (100-168), Alexandrie, *Optique*
    - ▶ premières mesures de la réfraction pour, entre autre, démontrer que dans le cas de la réfraction, les choses *“sont vues dans le prolongement du regard, [...] avec l'impression, non que le rayon visuel est brisé, mais plutôt que les choses flottent et s'élèvent jusqu'à lui”*.
    - ▶ Il construit précisément le lieu où apparaît ce que nous appelons **“image virtuelle”** : à l'intersection du rayon visuel et de la normale à la surface de séparation des deux milieux
  - ▶ **Kepler** (1571-1630) propose une loi linéaire approchée,  $r = k \times i$ , valable aux faibles angles d'incidence

# Réflexion et Réfraction

- ▶ les lois et démons

- ▶ CI



- ▶ KI

variable aux angles d'incidence

es angles  $i$  et  $r$ , ne furent découvertes e.

, Alexandrie, *Optique*

fraction pour, entre autre, démontrer que  
i, les choses "sont vues dans le prolongement  
ession, non que le rayon visuel est brisé, mais  
ent et s'élèvent jusqu'à lui".

lieu où apparaît ce que nous appelons  
ersection du rayon visuel et de la normale à  
es deux milieux

une loi linéaire approchée,  $r = k \times i$ ,

# Réflexion & Réfraction

- ▶ les lois de la réfraction, reliant les angles  $i$  et  $r$ , ne furent découvertes et démontrées qu'au XVII<sup>e</sup> siècle.
  - ▶ **Claude Ptolémée** (100-168), Alexandrie, *Optique*
    - ▶ premières mesures de la réfraction pour, entre autre, démontrer que dans le cas de la réfraction, les choses *“sont vues dans le prolongement du regard, [...] avec l'impression, non que le rayon visuel est brisé, mais plutôt que les choses flottent et s'élèvent jusqu'à lui”*.
    - ▶ Il construit précisément le lieu où apparaît ce que nous appelons **“image virtuelle”** : à l'intersection du rayon visuel et de la normale à la surface de séparation des deux milieux
  - ▶ **Kepler** (1571-1630) propose une loi linéaire approchée,  $r = k \times i$ , valable aux faibles angles d'incidence
  - ▶ **Harriot** (1560-1621), **Snell** (1580-1626) et **Descartes** (1596-1650), première formulation exacte de la loi  $n_i \sin i = n_r \sin r$

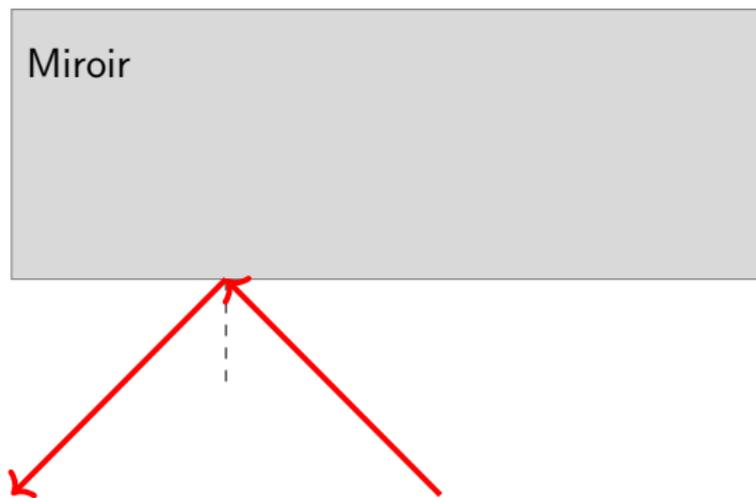
# Réflexion & Réfraction

# La réflexion

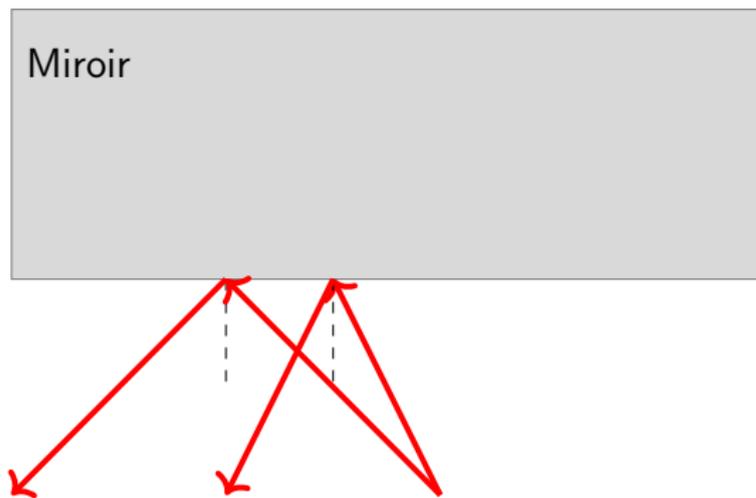
Miroir



# La réflexion

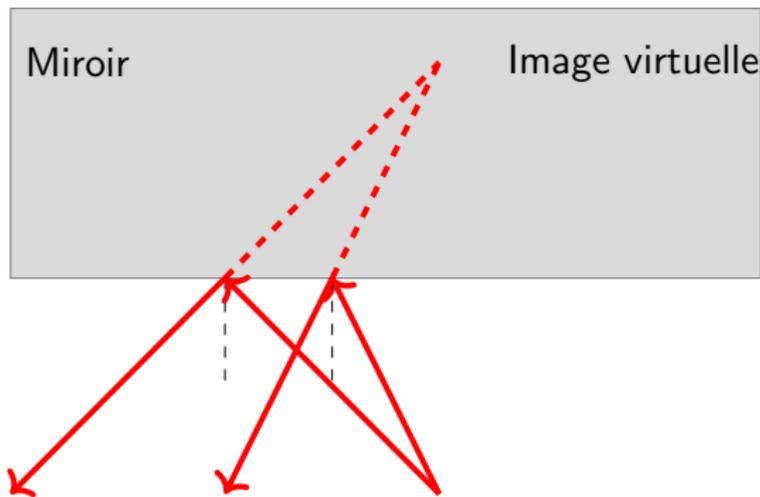


# La réflexion



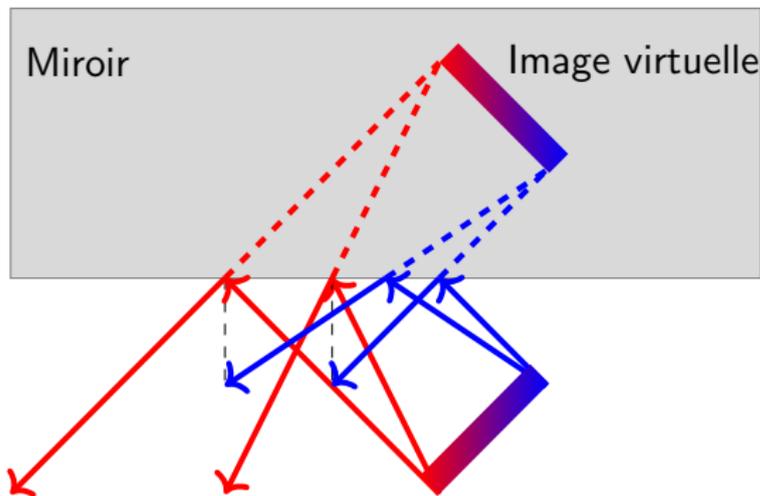
# La réflexion

- ▶ **Claude Ptolémée** (100-168), Alexandrie, *Optique*
  - ▶ **“image virtuelle”** : à l'intersection du rayon visuel et de la normale à la surface de séparation des deux milieux
  - ▶ dans le cas de la réfraction, les choses “sont vues dans le prolongement du regard, [...] avec l'impression, non que le rayon visuel est brisé, mais plutôt que les choses flottent et s'élèvent jusqu'à lui” → c'est aussi le cas pour la réflexion



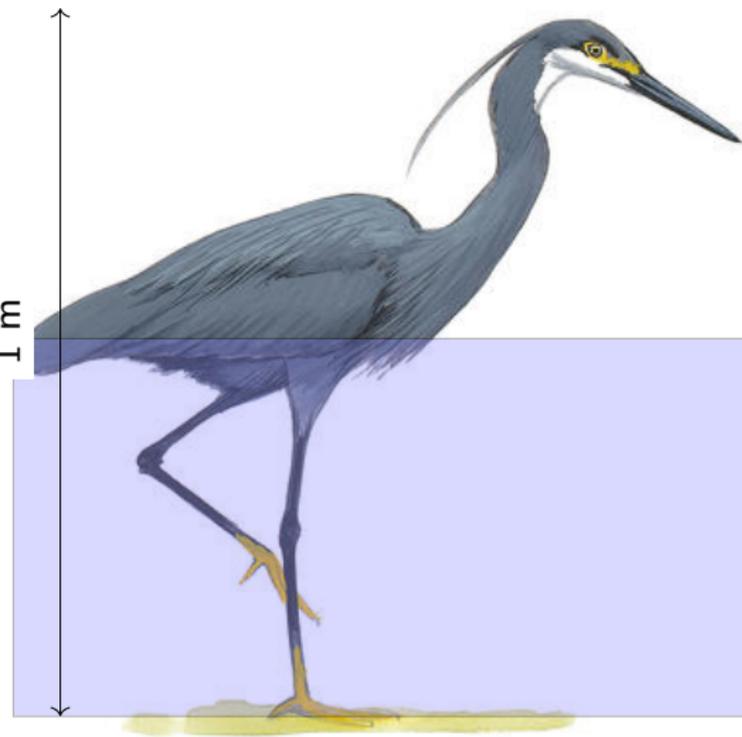
# La réflexion

- ▶ **Claude Ptolémée** (100-168), Alexandrie, *Optique*
  - ▶ **“image virtuelle”** : à l'intersection du rayon visuel et de la normale à la surface de séparation des deux milieux
  - ▶ dans le cas de la réflexion, les choses “sont vues dans le prolongement du regard, [...] avec l'impression, non que le rayon visuel est brisé, mais plutôt que les choses flottent et s'élèvent jusqu'à lui” → c'est aussi le cas pour la réflexion



# Le Héron

Pourquoi le héron est il un bon physicien ?

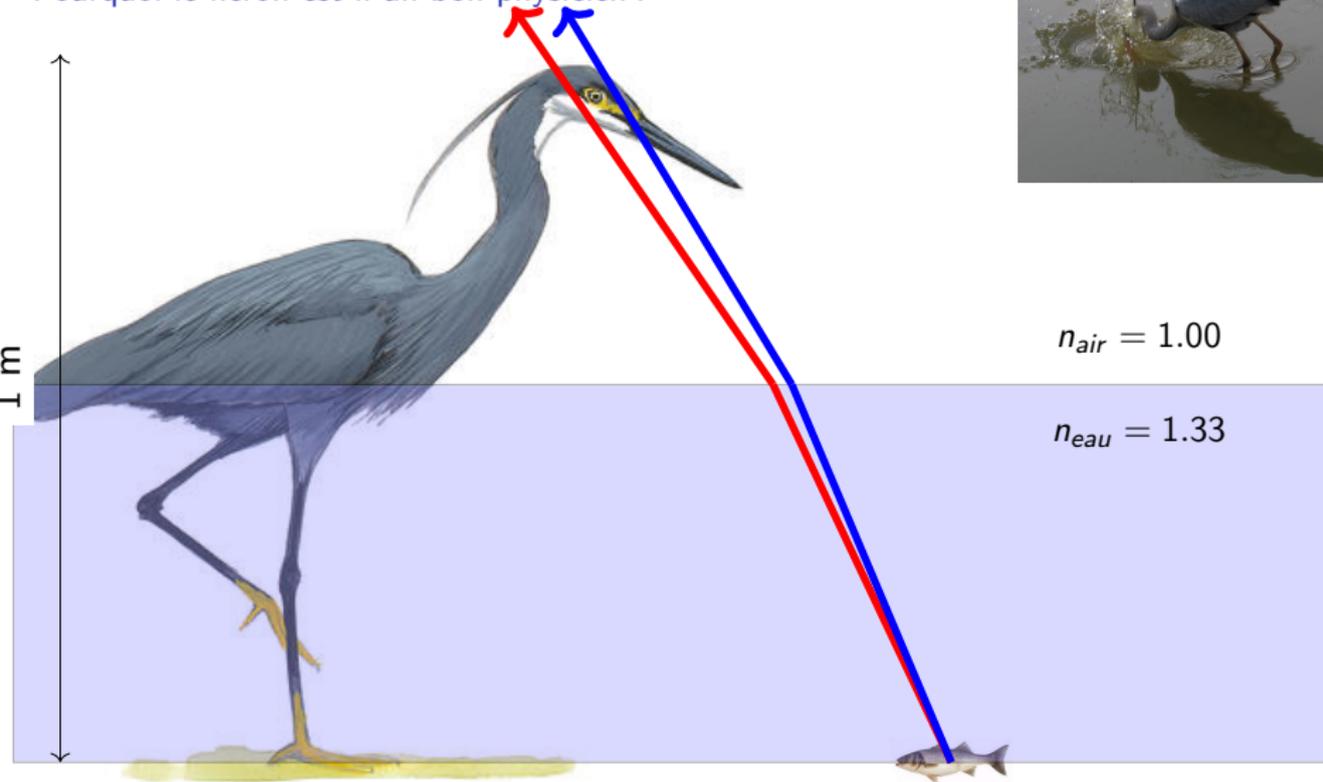


$$n_{air} = 1.00$$

$$n_{eau} = 1.33$$

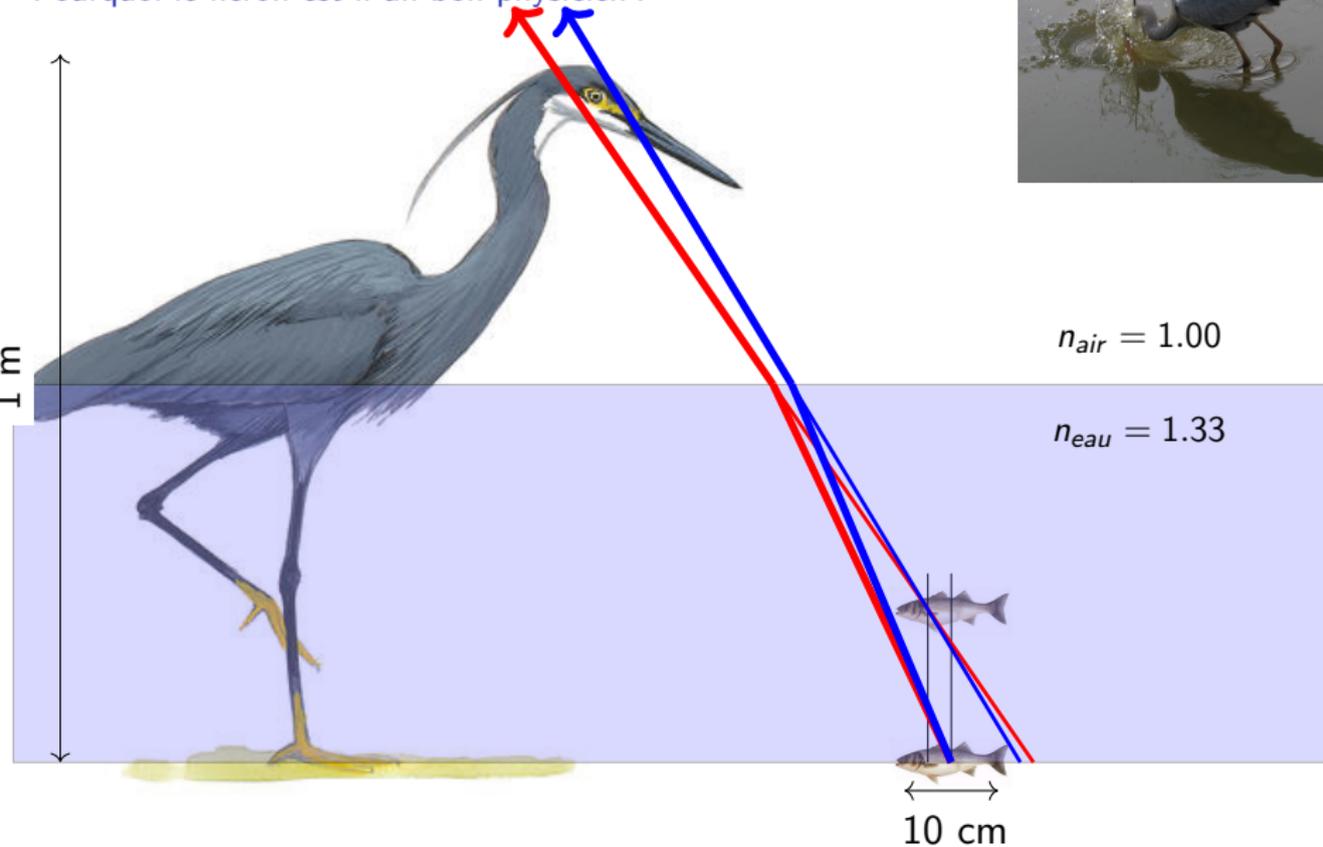
# Le Héron

Pourquoi le héron est il un bon physicien ?



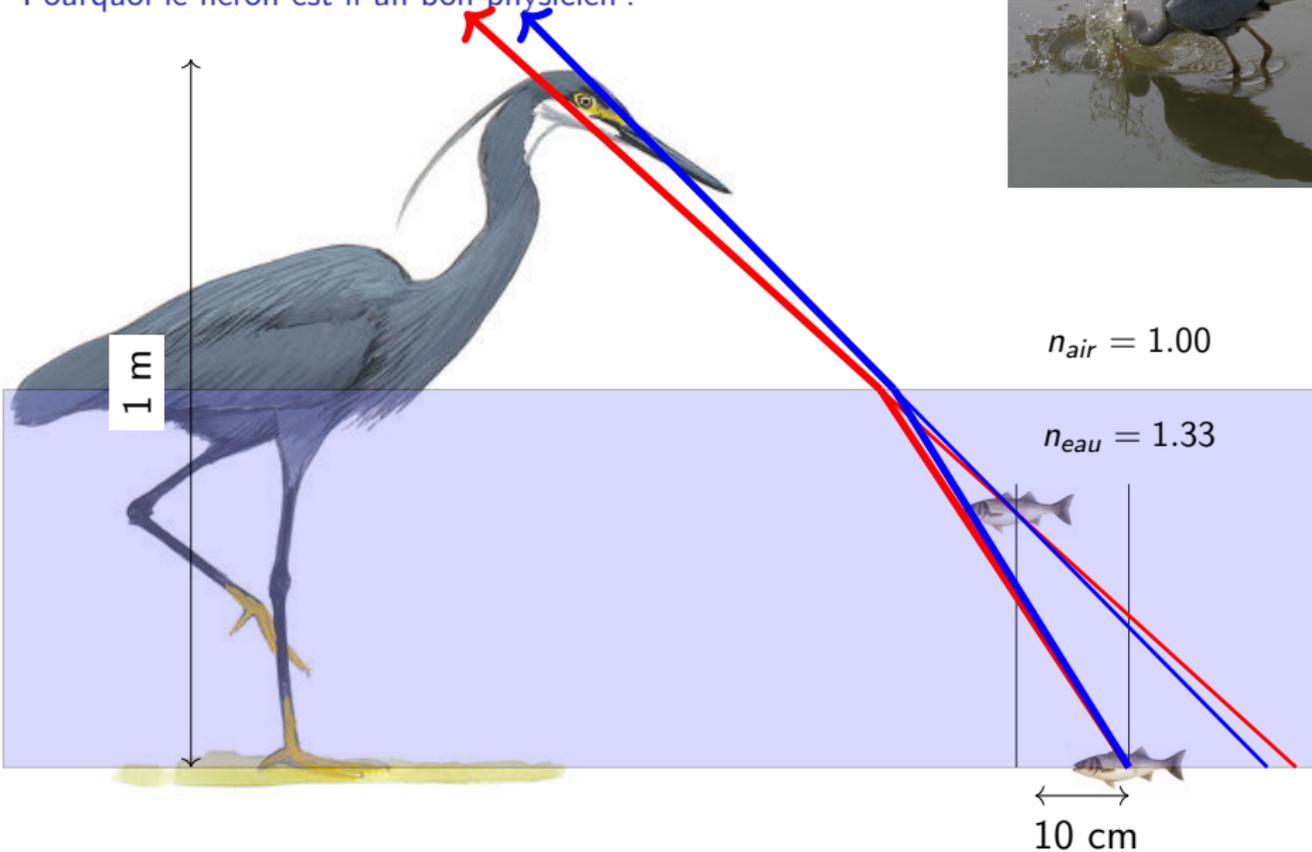
# Le Héron

Pourquoi le héron est il un bon physicien ?

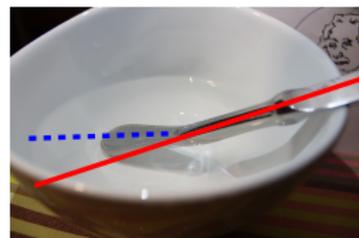
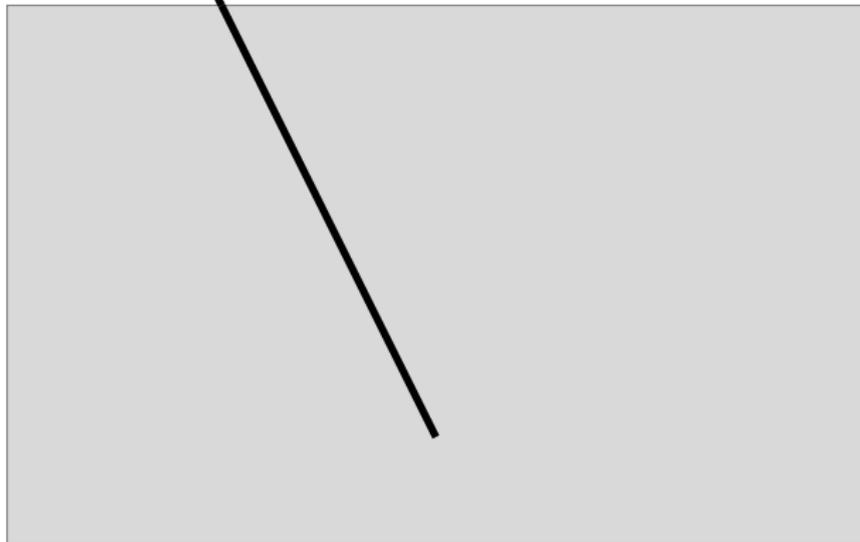


# Le Héron

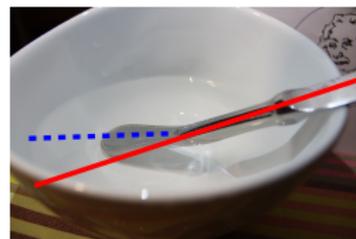
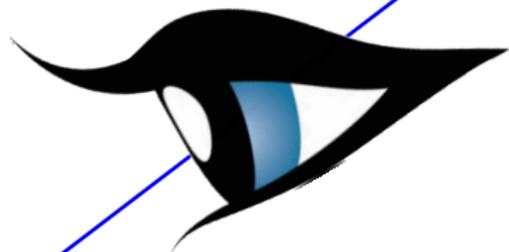
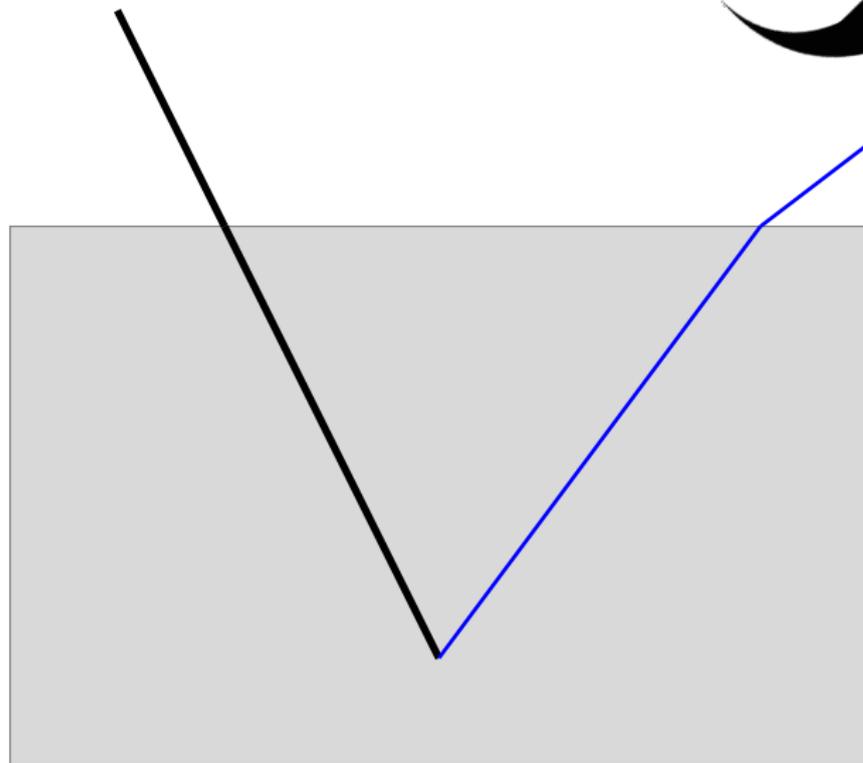
Pourquoi le héron est il un bon physicien ?



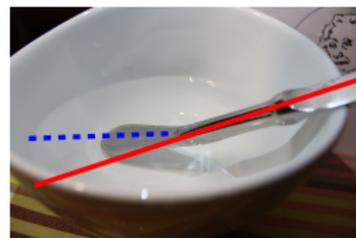
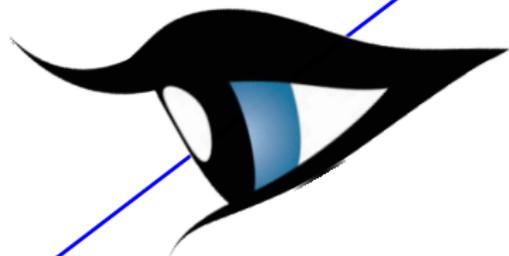
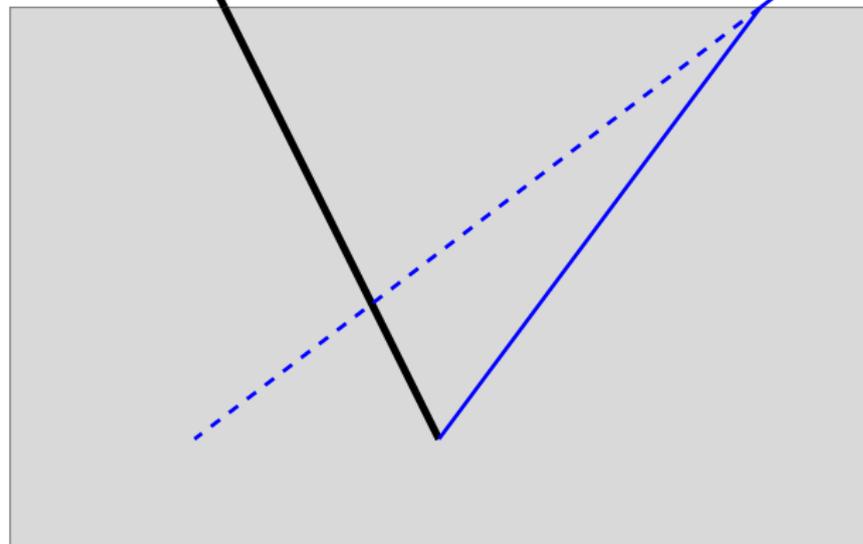
# La semaine dernière ...



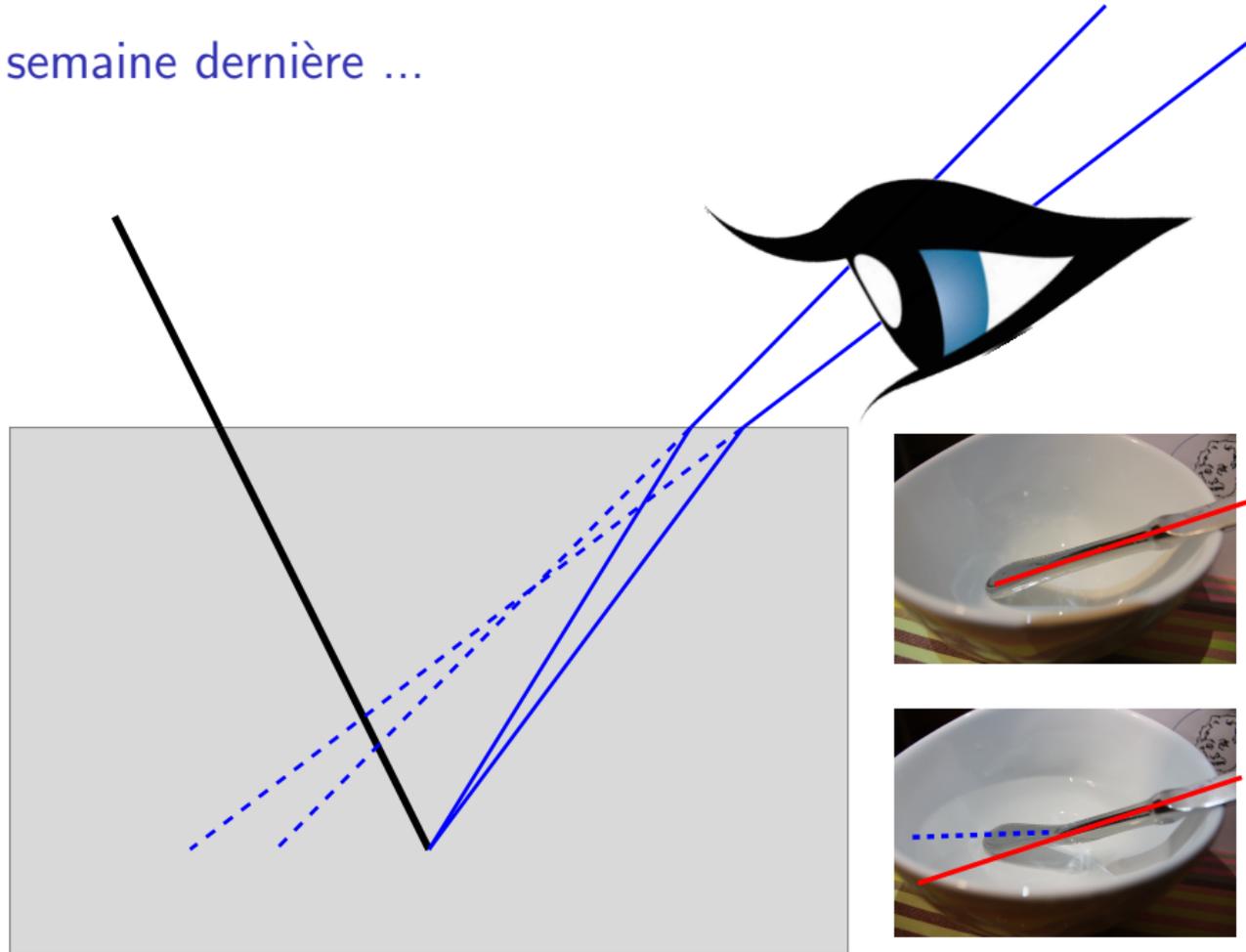
La semaine dernière ...



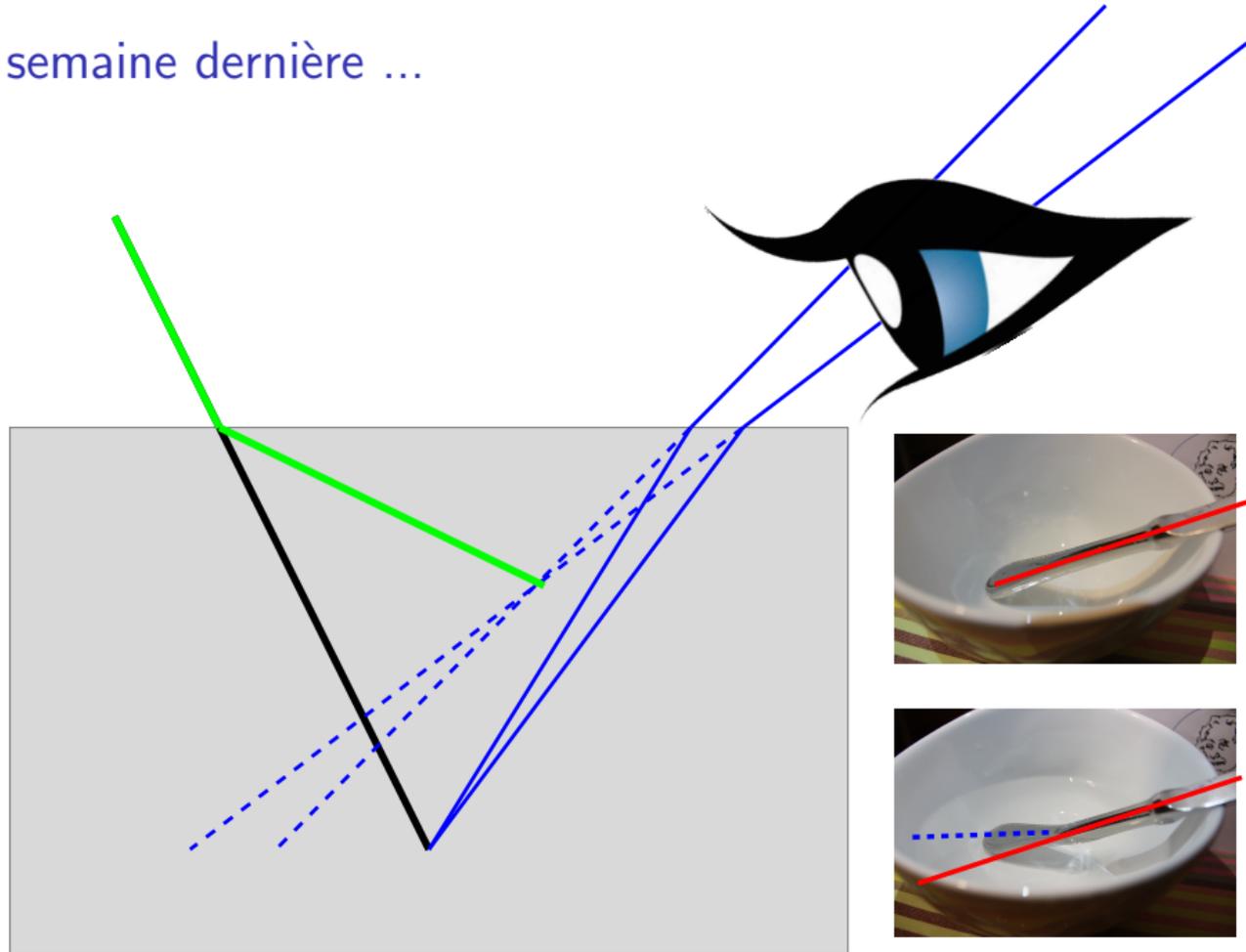
La semaine dernière ...



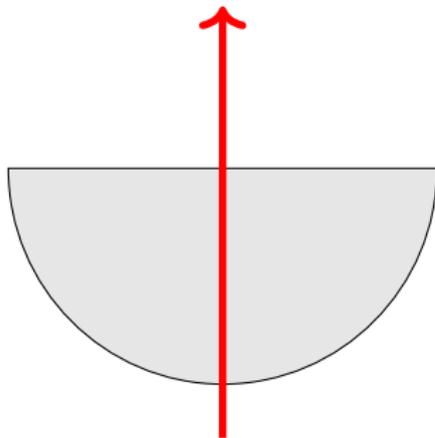
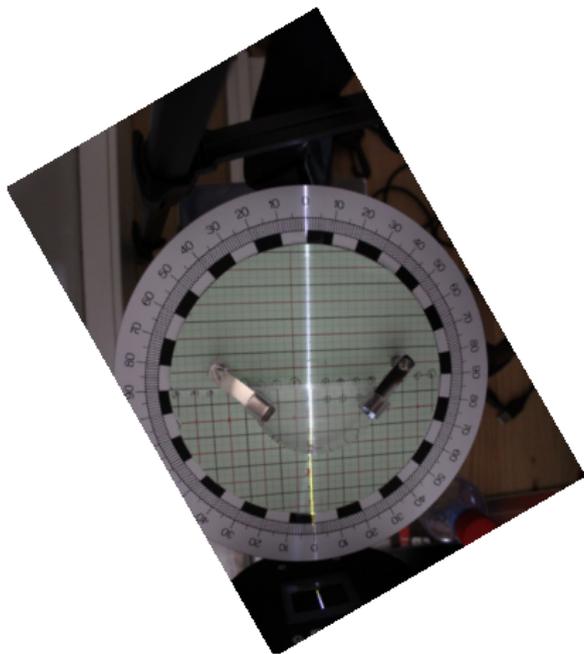
La semaine dernière ...



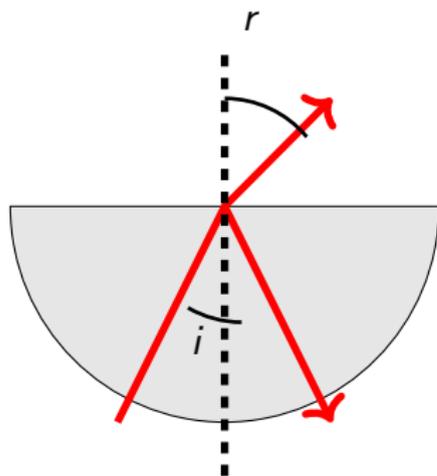
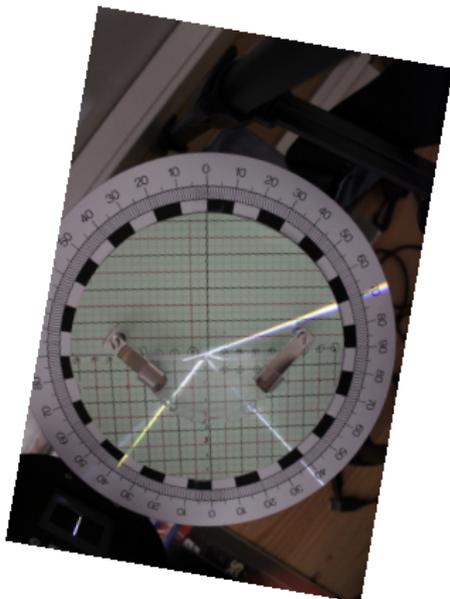
La semaine dernière ...



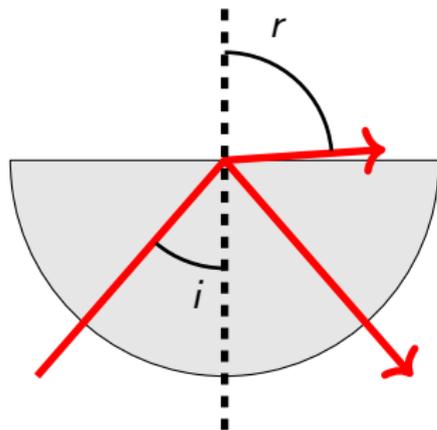
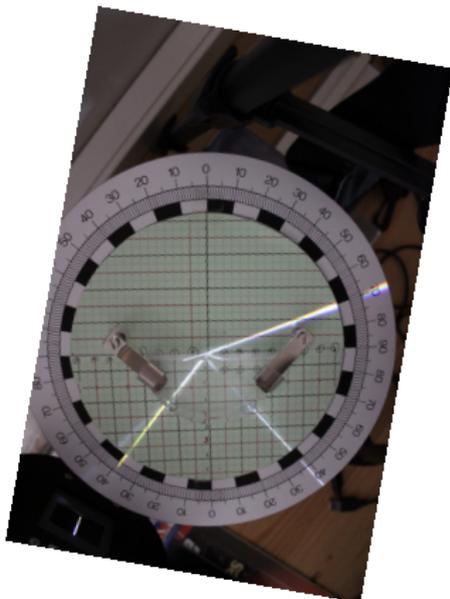
# La réflexion totale



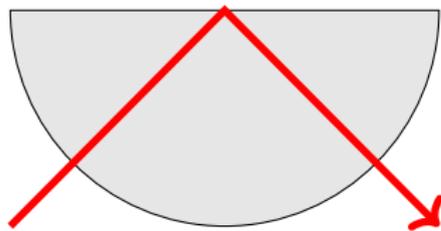
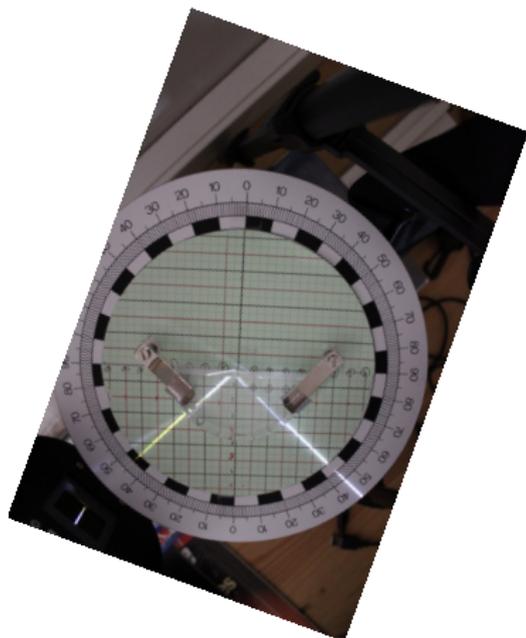
# La réflexion totale



# La réflexion totale



# La réflexion totale



# Lumière

## Référence

- ▶ "Iliade", Homère, Trad. Victor Bérard, Folio, 1988.
- ▶ "Les origines de la physique moderne", I. Bernard Cohen, Ed. Seuil, 1993.
- ▶ "Histoire générale des Sciences", René Taton, Eds. Quadrige, 1994.
- ▶ "Histoire de la Philosophie", Emile Bréhier, Eds. Quadrige, 1994.
- ▶ "La lumière", Émile Biémont, collection Que sais-je, 1996.
- ▶ "Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences", Thomas Bourgeois et Dominique Lecourt, Presses Universitaires de France, 2006.
- ▶ "La vue et la lumière", Michel Blay, Revue d'Histoire des Sciences **60**, 119 (2007).
- ▶ "Histoire de la Physique", Jean Perdijon, Dunod, 2008.
- ▶ "Optique : Une approche expérimentale et pratique", Sylvain Houard, Eds. De Boeck, 2011.
- ▶ "A history of optics", Olivier Darrigol, Oxford University Press, 2012.
- ▶ "Initiation à la Philosophie", Roger Caratini, Archipoche Eds, 2012.
- ▶ "Le double chemin de la lumière", Bernard Maitte, La Recherche N° 493, Novembre 2014.
- ▶ "Une histoire de la lumière", Bernard Maitte, Eds. Seuil, 2015.
- ▶ "Brève histoire des théories de la lumière", Michel Blay, Union Rationaliste **196**, 7 (2015).
- ▶ "Les plus grandes dates de la Science", Jean C. Baudet, La Boîte à Pandore Eds, 2016.
- ▶ "Optics", Eugene Hecht, Eds. Pearson, 2017.
- ▶ "Lumière et luminescence", Bernard Valeur, Eds. Belin, 2017.